

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3161362号  
(P3161362)

(45) 発行日 平成13年 4 月25日 (2001. 4. 25)

(24) 登録日 平成13年 2 月23日 (2001. 2. 23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

C 2 3 C 14/06

C 2 3 C 14/06

M

B 2 9 C 67/00

B 2 9 C 67/00

C 2 3 C 28/00

C 2 3 C 28/00

Z

請求項の数43(全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平9-114071

(22) 出願日 平成9年5月1日(1997. 5. 1)

(65) 公開番号 特開平10-305488

(43) 公開日 平成10年11月17日(1998. 11. 17)

審査請求日 平成10年9月18日(1998. 9. 18)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72) 発明者 山田 高幸

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリー  
ンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

(72) 発明者 高橋 睦也

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリー  
ンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

(72) 発明者 永田 真生

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリー  
ンテクなかい富士ゼロックス株式会社内

(74) 代理人 100071526

弁理士 平田 忠雄

審査官 鈴木 正紀

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微小構造体、その製造方法、その製造装置、基板および成形型

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の2次元パターンに金属、セラミック  
スあるいはシリコンから形成された複数の薄膜の面同士  
が直接接触して接合した状態で積層されてなる微小構造  
体。

【請求項2】 前記複数の薄膜は、常温接合により接合さ  
れてなることを特徴とする請求項1記載の微小構造体。

【請求項3】 前記微小構造体全体が、前記複数の薄膜を  
構成する成分のみで構成されてなる請求項1記載の微小  
構造体。

【請求項4】 前記微小構造体は、相対的に移動可能で、  
かつ、分離不可能な状態で組み合わさった複数の構造体  
要素から構成されたことを特徴とする請求項1記載の微  
小構造体。

【請求項5】 基板上に所定の2次元パターンを有する複

数の薄膜を形成する第1の工程と、

前記複数の薄膜を前記基板上から剥離し、ステージ上に  
前記複数の薄膜を積層して接合させて微小構造体を形成  
する第2の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製  
造方法。

【請求項6】 前記第1の工程では、前記複数の薄膜を前  
記基板上に間隔を有して形成することを特徴とする請求  
項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項7】 前記第2の工程では、前記基板から複数の個  
10 の前記薄膜を同時に剥離するとともに、前記ステージ上  
の異なる位置に前記複数の薄膜を同時に積層すること  
を特徴とする請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項8】 前記第1の工程では、同一の2次元パター  
ンを有する薄膜を前記基板上に間隔を有して複数個ずつ  
形成し、

(2)

3

前記第2の工程において、前記同一の2次元パターンを有する薄膜を複数個同時に剥離することを特徴とする請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項9】前記第1の工程では、前記基板上に前記2次元パターンを有する薄膜の周囲に間隔を隔ててサポート用薄膜を形成するとともに、

前記第2の工程においては、前記複数の薄膜と前記サポート用薄膜を同時に前記基板から剥離するとともに、前記複数の薄膜と前記サポート用薄膜を同時に前記ステージ上に積層し、

さらに、前記第2の工程の後に、前記微小構造体の周囲を前記サポート用薄膜が積層して形成されてなる支持体を除去する第3の工程を備えることを特徴とする請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項10】前記第1の工程は、前記基板上に真空蒸着法あるいはスピンコート法によって薄膜を形成し、前記薄膜を前記所定の2次元パターンにパターニングして前記複数の薄膜を形成する工程である請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項11】前記パターニングの工程は、集束イオンビームあるいは電子ビームの照射により前記2次元パターンの境界線、あるいは前記2次元パターン以外の不要部分を除去する工程である請求項10記載の微小構造体の製造方法。

【請求項12】前記パターニングの工程は、レジストパターンの形成、エッチングを含むフォトリソグラフィ法の工程である請求項10記載の微小構造体の製造方法。

【請求項13】前記第2の工程では、前記複数の薄膜を常温接合により接合することを特徴とする請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項14】前記第2の工程は、前記ステージおよび前記複数の薄膜の接合面を真空槽内で清浄化する工程を含む請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項15】前記清浄化する工程は、前記接合面に粒子ビームを照射して行う工程である請求項14記載の微小構造体の製造方法。

【請求項16】前記薄膜と前記ステージの界面として前記ステージ表面に、前記複数の薄膜を積層して前記微小構造体を形成した後に選択除去可能な犠牲層を予め形成する構成の請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項17】前記基板と前記薄膜の界面として前記基板表面に、予め離型層を形成する構成の請求項5記載の微小構造体の製造方法。

【請求項18】前記離型層は、フッ素を含む薄膜を蒸着あるいは塗布して形成するか、あるいは前記基板表面をフッ素原子を有するガスの放電に晒し基板表面をフッ素化して形成する構成の請求項17記載の微小構造体の製造方法。

【請求項19】基板上に所定の2次元パターンを有する

4

複数の第1の薄膜を形成するとともに、前記複数の第1の薄膜の周囲に前記第1の薄膜とは異なる材料からなり、かつ、前記第1の薄膜と同一膜厚の複数の第2の薄膜を形成して前記第1の薄膜および前記第2の薄膜からなる複数の複合薄膜を形成する第1の工程と、

前記複数の複合薄膜を前記基板上から剥離し、ステージ上に前記複数の複合薄膜を積層して接合させて微小構造体を含む積層体を形成する第2の工程と、

前記積層体のうち前記第1の薄膜あるいは前記第2の薄膜を除去して前記微小構造体を得る第3の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製造方法。

【請求項20】前記第1の工程では、前記複数の第1の薄膜を前記基板上に間隔を有して形成することを特徴とする請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項21】前記第2の工程では、前記基板から複数の前記複合薄膜を同時に剥離するとともに、前記ステージ上の異なる位置に前記複数の複合薄膜を同時に積層することを特徴とする請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項22】前記第1の工程では、同一の2次元パターンを有する複合薄膜を前記基板上に間隔を有して複数個ずつ形成し、

前記第2の工程において、前記同一の2次元パターンを有する複合薄膜を複数個同時に剥離することを特徴とする請求項21記載の微小構造体の製造方法。

【請求項23】前記第1の工程は、前記基板上に真空蒸着法あるいはスピンコート法によって薄膜を形成し、前記薄膜を前記所定の2次元パターンにパターニングして前記複数の第1の薄膜を形成する工程を含む請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項24】前記パターニングの工程は、集束イオンビームあるいは電子ビームの照射により前記2次元パターンの境界線、あるいは前記2次元パターン以外の不要部分を除去する工程である請求項23記載の微小構造体の製造方法。

【請求項25】前記パターニングの工程は、レジストパターンの形成、エッチングを含むフォトリソグラフィ法の工程である請求項23記載の微小構造体の製造方法。

【請求項26】前記第1の工程は、前記複数の第1の薄膜および前記複数の第1の薄膜が形成されていない前記基板の上に前記第2の薄膜を着膜し、前記第1の薄膜および前記第2の薄膜が同一の膜厚になるまで表面を研磨することによって前記第1の薄膜と前記第2の薄膜の膜厚を同一とする工程を含む請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項27】前記第2の工程では、前記複数の複合薄膜を常温接合により接合することを特徴とする請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項28】前記第2の工程は、前記ステージおよび

(3)

5

前記複数の複合薄膜の接合面を真空槽内で清浄化する工程を含む請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項29】前記清浄化する工程は、前記接合面に粒子ビームを照射して行う工程である請求項28記載の微小構造体の製造方法。

【請求項30】前記複合薄膜と前記ステージの界面として前記ステージ表面に、前記複数の複合薄膜を積層して前記積層体を形成した後に選択除去可能な犠牲層を予め形成する構成の請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項31】前記基板と前記複合薄膜の界面として前記基板表面に、予め離型層を形成する構成の請求項19記載の微小構造体の製造方法。

【請求項32】前記離型層は、フッ素を含む薄膜を蒸着あるいは塗布して形成するか、あるいは前記基板表面をフッ素原子を有するガスの放電に晒し基板表面をフッ素化して形成する構成の請求項31記載の微小構造体の製造方法。

【請求項33】前記微小構造体は、複数の独立した構造体要素から構成されるとともに、前記第1の工程では、前記第2の工程における前記複数の複合薄膜の積層完了後に、前記複数の構造体要素が前記微小構造体として組み立てられた状態で前記積層体中に含まれるように前記複数の第1の薄膜を形成したこと特徴とする請求項20記載の微小構造体の製造方法。

【請求項34】複数の基板上に薄膜をそれぞれ着膜し、前記複数の基板上に着膜した前記薄膜に所定の2次元パターンを有する複数の潜像を前記基板毎に形成する第1の工程と、  
前記潜像が形成された前記薄膜同士を接合する第2の工程と、  
前記薄膜同士が接合された一対の前記基板のうち一方の前記基板を除去する第3の工程と、  
前記第2の工程と前記第3の工程を繰り返して複数の薄膜を積層する第4の工程と、  
積層された前記複数の薄膜のうち前記潜像を現像する第5の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製造方法。

【請求項35】前記潜像の形成は、前記基板に不純物を拡散させる構成の請求項34記載の微小構造体の製造方法。

【請求項36】真空槽内に配置され、所定の2次元パターンを有する複数の薄膜が形成された基板を載置する基板ホルダと、  
前記真空槽内で前記基板ホルダに対向して配置され、前記複数の薄膜を積層して形成される立体構造物を支持するステージと、  
前記基板ホルダと前記ステージの少なくとも一方を移動させて前記ステージを前記複数の薄膜上に順々に位置させる移動手段と、

6

前記複数の薄膜を前記基板上から剥離し、前記ステージ上に前記複数の薄膜を積層して接合させて微小構造体を形成するように前記移動手段を制御する制御手段を備えたことを特徴とする微小構造体の製造装置。

【請求項37】前記移動手段は、前記基板ホルダおよび前記ステージを少なくとも相対的に3軸方向に移動させる移動機構を備えた構成の請求項36記載の微小構造体の製造装置。

【請求項38】前記真空槽は、接合する前記ステージあるいは前記薄膜の表面に原子ビームあるいはイオンビームを照射して清浄化する照射手段を備えた構成の請求項36記載の微小構造体の製造装置。

【請求項39】複数の薄膜を積層してなる微小構造体の製造方法であって、

前記微小構造体の断面形状に対応した2次元パターンを有する前記複数の薄膜を形成する工程と、  
積層時に隣接する前記複数の薄膜の互いに対向する面を清浄化する工程と、  
前記複数の薄膜の清浄化された面同士を接触させて接合する工程と、を備えた微小構造体の製造方法。

【請求項40】前記複数の薄膜を形成する工程において、同一基板上に前記複数の薄膜を形成することを特徴とする請求項39記載の微小構造体の製造方法。

【請求項41】前記複数の薄膜の周辺に前記薄膜と同一膜厚であって前記微小構造体の積層後除去される第2の薄膜を設けることを特徴とする請求項39記載の微小構造体の製造方法。

【請求項42】複数の薄膜が表面に形成されてなる基板において、

30 前記複数の薄膜は、前記基板側との間に、表面が清浄化された後相手部材と接合されたとき、その接合力より小なる密着力を有することを特徴とする基板。

【請求項43】所定の2次元パターンに形成された複数の薄膜が接合した状態で積層されてなる成型型。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、積層造形方法によって製造される微小ギアや微細光学部品、あるいはこれらを成形する金型等の微小構造体、およびその製造方法および装置に関し、特に、金属あるいは絶縁体からなる薄膜を微小構造体の断面形状にパターンニングし、これらを積層することによって得られる微小構造体、およびその製造方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】積層造形方法は、コンピュータで設計された複雑な形状の3次元物体を短納期で造形する方法として近年急速に普及している。積層造形方法で作成された3次元物体は、種々の装置の部品のモデル（プロトタイプ）として、部品の動作や形状の良否を調べるために利用される。この方法が適用される部品のサイズは、数

(4)

7

cm以上の比較的大きな部品が多かったが、近年、精密に加工して形成される微小部品、例えば微小ギアや微細光学部品にもこの方法を適用したいというニーズがある。このようなニーズに対応するものとして、従来より以下の積層造形方法が知られている。

- (1) 光造形法（以下「従来例1」という。）
- (2) 粉末法（以下「従来例2」という。）
- (3) シート積層法（以下「従来例3」という。）
- (4) 薄膜を出発材料として用いる方法（以下「従来例4」という。）

【0003】（従来例1）図26は、従来例1の光造形法を示す。この「光造形法」は、紫外線等の光照射によって硬化する光硬化性樹脂100を満たした槽101に、上面よりレーザ光102を3次元物体の断面形状データに応じて2次元走査を行い、樹脂層100aを硬化させ、ステージ103を1層分下げ、この工程を繰り返すことにより複数の樹脂層100aからなる3次元物体を造形するものである。この光造形法として、名古屋大学の生田らによって文献「OPTRONICS、1996、No4、p103」に示されたものがある。この光造形法によれば、露光条件の最適化や樹脂特性の最適化等の工夫により平面形状精度 $5\mu\text{m}$ 、積層方向の解像度 $3\mu\text{m}$ を達成することができる。また、大阪大のKawataらによって文献「Proceedings of MEMS 97、p169」に示されたものがある。この光造形法によれば、2光子吸収現象という原理を用いることによって平面形状精度 $0.62\mu\text{m}$ 、積層方向の解像度 $2.2\mu\text{m}$ を達成することができる。

【0004】（従来例2）図27は、従来例2の粉末法を示す。この「粉末法」は、槽101内に粉体104を薄く敷き詰め、この薄い層（粉体層）104aにレーザ光102を照射することにより粉体層104aを所望の形状の薄層に焼結し、この工程を繰り返すことにより、複数の粉体層104aからなる焼結体の3次元物体を造形するものである。この粉末法によれば、3次元物体として樹脂だけでなく、セラミックスや金属等の造形が可能である。

【0005】（従来例3）図28は、従来例3のシート積層法に係る製造装置を示す図であり、特開平6-190929号公報に示されているものである。この製造装置において、フィルム供給部110からプラスチックフィルム111を供給すると、そのプラスチックフィルム111は、接着剤塗布部120によって下面に光硬化型接着剤121が一様に塗布されて接着層が形成され、ネガパターン露光部130によって接着層のうち微小構造体の断面形状に対応する領域以外の領域が露光され、硬化部と未硬化部が形成され、光硬化接合部140の押さえローラ141によって下方に押さえられ、線光源142からの光線によって未硬化部が硬化し、下側のプラスチックフィルム111に接合する。レーザ切断部150

8

は、炭酸ガスレーザ源151からのレーザによってプラスチックフィルム111の後端を切断するとともに、レーザによって最上層のプラスチックフィルム111の不要領域の輪郭を除去する。この工程を繰り返して微小構造体が製造される。なお、同図において、160は、本装置を制御するワークステーションである。このシート積層法によれば、プラスチックシートからなる微小構造体が得られる。

【0006】（従来例4）図29は、従来例4の薄膜を出発材料として用いる製造方法を示す図であり、特開平8-127073号公報に示されているものである。この製造方法は、同図(a)に示すように、基材170に感光性樹脂膜171を形成し、同図(b)に示すように、所望のパターンに露光して露光部171aを形成する工程と、同図(c)に示すように、樹脂膜171の混合を防止し、下層への露光を妨げる中間膜172を形成する工程を繰り返し、同図(d)に示すように、樹脂膜171と中間膜172からなる多層構造物を形成した後、樹脂の現像液に浸漬して同図(b)、(c)に示す露光部171aを選択除去して同図(d)に示すように、立体形状の微小構造体を得る方法である。この製造方法を用いれば、樹脂膜171と中間膜172はスピンコート法等が適用できるため、積層方向の解像度を $\mu\text{m}$ オーダーにできる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来例1の光造形法によれば、微小ギアや微細光学部品の製造に必要な積層方向の解像度 $1\mu\text{m}$ 以下、膜厚精度 $0.1\mu\text{m}$ 以下を達成できないという欠点がある。すなわち、出発材料（光硬化樹脂）を硬化させるために、層に垂直に入射する光を用いているため、垂直入射した光は表面から吸収されその強度を弱めながら深く進入していき、やがて硬化に必要な閾値レベル以下になる。そこまでの層の厚みが1層の厚みであるが、これは入射光の強度のばらつき、経時変化、出発材料の吸収係数のばらつき等により変化するため、高解像度化は難しい。また、光硬化樹脂を用いるため、造形後に行われる完全硬化させるためのフルキュア工程で全体が1%～数%収縮するという欠点があり、この工程で大幅に精度を落とすことになる。また、作製できる微小構造体は比較的柔らかな光硬化樹脂に限られるため、金属等の固い材料で目的とする微小構造体を製造する場合は、この樹脂を型として電鋳法や射出成形法等により転写するしかなく、転写工程が必要となるという欠点がある。

【0008】また、従来例2の粉末法によれば、従来例1と同様に、層に垂直に入射する光を用いているため、積層方向の解像度が悪く、フルキュア工程における収縮により精度劣化を招き、金属等の固い材料の微小構造体を製造する場合は、転写工程を要するという欠点を有している。

【0009】また、従来例3のシート積層法によれば、

50

(5)

9

積層方向の解像度はシートの厚さで決まり、その下限はシートの取り扱いを考慮すると数十 $\mu\text{m}$ 程度であり、やはり積層方向の解像度1 $\mu\text{m}$ 以下は不可能である。

【0010】また、従来例4の薄膜を出発材料として用いる製造方法によれば、露光の工程ではほぼ垂直に入射する光を用いるため、下層への露光を防ぐために中間膜

(例えばA1)が必要となり、1層当たりの解像度の点で不利になる。また、中間膜を省略するため、感光波長と溶媒の異なる2種類の感光性樹脂を交互に積層し、それぞれを露光し、最後に現像して3次元形状を形成する方法も当該公報に示されているが、溶媒が異なる樹脂同士

の密着性に難があり、完成した部品の強度が低いこと、および最後の現像工程で感光性樹脂が膨潤し、寸法精度が悪くなるといった欠点がある。更に、感光性樹脂を用いているため、上記の光造形法と同様に金属や絶縁体等の材料には直接適用することは不可能で、型として使うしかなかった。

【0011】従って、本発明の目的は、形状精度が高く、特に、積層方向の高解像度化が可能な微小構造体、その製造方法、その製造装置、基板および成形成型を提供することにある。また、本発明の他の目的は、直接金属あるいはセラミックス等の絶縁体で造形することが可能な微小構造体、その製造方法、その製造装置、基板および成形成型を提供することにある。また、本発明の他の目的は、複数の構造体要素が組み立てられた状態で一括して造形することが可能な微小構造体、その製造方法、その製造装置、基板および成形成型を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するため、所定の2次元パターンに金属、セラミックスあるいはシリコンから形成された複数の薄膜の面同士が直接接触して接合した状態で積層されてなる微小構造体を提供する。

【0013】また、本発明は、上記目的を達成するため、基板上に所定の2次元パターンを有する複数の薄膜を形成する第1の工程と、前記複数の薄膜を前記基板上から剥離し、ステージ上に前記複数の薄膜を積層して接合させて微小構造体を形成する第2の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製造方法を提供する。

【0014】また、本発明は、上記目的を達成するため、基板上に所定の2次元パターンを有する複数の第1の薄膜を形成するとともに、前記複数の第1の薄膜の周囲に前記第1の薄膜とは異なる材料からなり、かつ、前記第1の薄膜と同一膜厚の複数の第2の薄膜を形成して前記第1の薄膜および前記第2の薄膜からなる複数の複合薄膜を形成する第1の工程と、前記複数の複合薄膜を前記基板上から剥離し、ステージ上に前記複数の複合薄膜を積層して接合させて微小構造体を含む積層体を形成する第2の工程と、前記積層体のうち前記第1の薄膜あるいは前記第2の薄膜を除去して前記微小構造体を得る

10

第3の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製造方法を提供する。

【0015】また、本発明は、上記目的を達成するため、複数の基板上に薄膜をそれぞれ着膜し、前記複数の基板上に着膜した前記薄膜に所定の2次元パターンを有する複数の潜像を前記基板毎に形成する第1の工程と、前記潜像が形成された前記薄膜同士を接合する第2の工程と、前記薄膜同士が接合された一対の前記基板のうち一方の前記基板を除去する第3の工程と、前記第2の工程と前記第3の工程を繰り返して複数の薄膜を積層する第4の工程と、積層された前記複数の薄膜のうち前記潜像を現像する第5の工程を含むことを特徴とする微小構造体の製造方法を提供する。

【0016】また、本発明は、上記目的を達成するため、真空槽内に配置され、所定の2次元パターンを有する複数の薄膜が形成された基板を載置する基板ホルダと、前記真空槽内で前記基板ホルダに対向して配置され、前記複数の薄膜を積層して形成される立体構造物を支持するステージと、前記基板ホルダと前記ステージの少なくとも一方を移動させて前記ステージを前記複数の薄膜上に順々に位置させる移動手段と、前記複数の薄膜を前記基板上から剥離し、前記ステージ上に前記複数の薄膜を積層して接合させて微小構造体を形成するように前記移動手段を制御する制御手段を備えたことを特徴とする微小構造体の製造装置を提供する。本発明は、上記目的を達成するため、複数の薄膜を積層してなる微小構造体の製造方法であって、前記微小構造体の断面形状に対応した2次元パターンを有する前記複数の薄膜を形成する工程と、積層時に隣接する前記複数の薄膜の互いに対向する面を清浄化する工程と、前記複数の薄膜の清浄化された面同士を接触させて接合する工程と、を備えた微小構造体の製造方法を提供する。本発明は、上記目的を達成するため、複数の薄膜が表面に形成されてなる基板において、前記複数の薄膜は、前記基板側との間に、表面が清浄化された後相手部材と接合されたとき、その接合力より小なる密着力を有することを特徴とする基板を提供する。本発明は、上記目的を達成するため、所定の2次元パターンに形成された複数の薄膜が接合した状態で積層されてなる成形成型を提供する。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施の形態に係る微小構造体の製造システムを示す。この製造システム1は、基板上に薄膜を着膜する着膜装置2Aと、着膜装置2Aによって着膜された薄膜を目的とする微小構造体の各断面形状に対応してパターニングするパターニング装置2Bと、パターニングされた複数の薄膜を常温接合によって積層する積層装置3とを有して構成されている。

【0018】着膜装置2Aは、Siウェハ、石英基板、ガラス基板(Corning 7059等)等の基板の上にサブ $\mu\text{m}$

50

(6)

11

～数 $\mu\text{m}$ の範囲で膜厚制御性が良好で、基板全体に亘って膜厚均一性に優れた着膜方法、例えば、電子ビーム加熱蒸着法、抵抗加熱蒸着法、スパッタリング法および化学蒸着（CVD：Chemical Vapor Deposition）法等の真空蒸着法、あるいはスピコート法によって薄膜を着膜するものである。真空蒸着法やスピコート法を用いることによって、0.1～10 $\mu\text{m}$ 程度の目標薄膜をその薄膜の1/10以下の膜厚精度で着膜することができる。

【0019】また、着膜装置2Aは、薄膜を着膜する前に基板の表面に離型性の良い離型層を予め形成するようになっている。離型層としては、基板表面に熱酸化膜やフッ素系樹脂等のフッ素を含む薄膜を蒸着あるいは塗布して形成してもよく、基板表面をフッ素原子を含むガスの放電に晒し、基板表面をフッ素化して形成してもよい。フッ素を含む薄膜の形成やフッ素化により、離型性を更に高めることができる。

【0020】パターンニング装置2Bは、薄膜を0.1 $\mu\text{m}$ 以下の平面形状精度を有するパターンニング方法、例えば、フォトリソグラフィ法、集束イオンビーム（FIB）法、電子ビーム直接描画法等を用いて微小構造体の各断面形状に対応する複数の薄膜を不要部分あるいは境界線の除去により一括して形成するものである。フォトリソグラフィ法によれば、サブ $\mu\text{m}$ の平面形状精度が得られ、量産性が向上する。また、FIB法および電子ビーム直接描画法を用いることにより、サブ $\mu\text{m}$ の平面形状精度が得られ、また、ビーム走査により任意の形状が描画できるため、フォトマスクを用いないでパターンニングできることから、フォトマスク作成のための納期が短縮できる。なお、電子ビーム直接描画法を用いる場合は、レジストとして電子線に感度のある電子線レジストを用いる。この第1の実施の形態では、フォトリソグラフィ法を用いて不要部分を除去した。

【0021】図2は、積層装置3の概略構成を示す。積層装置3は、積層工程が行われる真空槽300を有し、この真空槽300の内部に、基板400が載置される基板ホルダ301と、基板400上に形成された薄膜が転写されるステージ302と、このステージ302に取り付けられ、ステージ302側をFAB（Fast Atom Bombardment）処理する第1のFAB源303A、および基板400側をFAB処理する第2のFAB源303Bと、FAB処理後にアーム304A、304Bを約90°回転させて第1および第2のFAB源303A、303Bを退避させる第1および第2の退避モータ305A、305Bと、ステージ302に取り付けられ、基板400上のアライメントマークを検出する顕微鏡の如きマーク検出部306と、真空槽300内の真空度を検出する真空計307と、ステージ302をX軸モータ（図3参照）311によってX軸方向（図2において左右方向）に移動させるとともに、X軸位置検出部（図3参照）3

12

12によってステージ302のX軸上の位置を検出するX軸テーブル310と、ステージ302をY軸モータ

（図3参照）321によってY軸方向（図2において紙面に垂直な方向）に移動させるとともに、Y軸位置検出部（図3参照）322によってステージ302のY軸上の位置を検出するY軸テーブル320とが配設されている。なお、「FAB処理」とは、粒子ビームとして例えばアルゴンガスを1kV程度の電圧で加速して材料の表面に照射し、材料表面の酸化膜、不純物等を除去して清浄な表面を形成する処理をいう。本実施の形態では、FABの照射条件を処理対象の材料に応じて加速電圧1～1.5kV、照射時間1～10分の範囲で変更するようにしている。

【0022】ステージ302は、例えば、ステンレス、アルミニウム合金等の金属からなり、ステージ302上に積層された複数の薄膜からなる微小構造体をステージ302から容易に取り出せるようにするため、予め、表面に犠牲層が形成される。犠牲層の材料は、微小構造体の材料に応じて選択する。すなわち、微小構造体をアルミニウム等の金属で形成する場合は、犠牲層の材料として銅あるいはニッケルを選択し、ステージ302の表面に銅あるいはニッケルをめっき法により例えば約5 $\mu\text{m}$ 着膜する。微小構造体をアルミナ、窒化アルミ、炭化けい素、シリコン窒化膜等の絶縁体であるセラミックスで形成する場合は、犠牲層の材料としてアルミニウムを選択し、ステージ302の表面にアルミニウムを真空蒸着法等により形成する。薄膜の積層終了後、犠牲層のみをエッチング除去することにより、微小構造体に外力を加えることなく、微小構造体のみをステージ302から容易に分離することができる。

【0023】また、積層装置3は、真空槽300の外部に、基板ホルダ301をZ軸モータ（図3参照）331によってZ軸方向（図2において上下方向）に移動させ、薄膜をステージ302側に荷重5kgf/cm<sup>2</sup>以上で1～10分間圧着させるとともに、Z軸位置検出部（図3参照）332によって基板ホルダ301のZ軸上の位置を検出するZ軸テーブル330と、アライメント調整の際に $\theta$ モータ341によって基板ホルダ301をZ軸回りに回転させるとともに、 $\theta$ 位置検出部（図3参照）342によって基板ホルダ301の $\theta$ 方向の角度位置を検出する $\theta$ テーブル340と、真空槽300内を真空に排気する真空ポンプ350と、アルゴンガスが充填されたアルゴンガスボンベ351と、アルゴンガスボンベ351から供給されるアルゴンガスの流量を制御して第1および第2の電磁弁352A、352Bを介して対応する第1および第2のFAB源303A、303Bに供給する第1および第2の流量コントローラ（MFC）353A、353Bとを具備している。

【0024】図3は、積層装置3の制御系を示す。積層装置3は、本装置3全体の制御を司る制御部360を有

(7)

13

し、この制御部360に、制御部360のプログラムを含む各種の情報を記憶するメモリ361、第1のFAB源駆動部362Aを介して第1のFAB源303A、第2のFAB源駆動部362Bを介して第2のFAB源303B、第1および第2の退避モータ305A、305B、マーク検出部306、真空計307、X軸モータ311、X軸位置検出部312、Y軸モータ321、Y軸位置検出部322、Z軸モータ331、Z軸位置検出部332、 $\theta$ モータ341、 $\theta$ 位置検出部342、真空ポンプ350、第1および第2の電磁弁352A、352B、第1および第2のMFC353A、353Bを各々接続している。

【0025】X軸位置検出部312、Y軸位置検出部322および $\theta$ 位置検出部342は、例えば、レーザー干渉計やガラススケール等を用いることによって実現することができる。

【0026】第1および第2のFAB源駆動部362A、362Bは、1~1.5kVの加速電圧を対応する第1および第2のFAB源303A、303Bに付与するものである。

【0027】制御部360は、メモリ361が記憶するプログラムに基づいて、基板400上に離型層を介して形成された薄膜をステージ302の表面に犠牲層を介して接合し、この薄膜に基板から剥離して複数の薄膜を順次接合して積層し、微小構造体を形成するように積層装置3の各部を制御するようになっている。

【0028】図4は、犠牲層、薄膜、離型層間の接合力の関係を説明するための図である。離型層401と薄膜4aとの接合力を $f_1$ 、薄膜4a、4a同士の接合力を $f_2$ 、薄膜4aと犠牲層370との接合力を $f_3$ としたとき、 $f_2 > f_3 > f_1$ の大小関係となるように犠牲層370、離型層401および薄膜4aの材料を選択する。これにより、基板400上に離型層401を介して形成された薄膜4aがステージ302上の犠牲層370あるいは既にステージ302上に転写された薄膜4aと十分な強度で接合され、かつ、基板400から剥離してステージ302側に移ることができる。

【0029】次に、第1の実施の形態に係る製造システム1の動作を図5および図6を参照して説明する。なお、ステージ302上には予め犠牲層370が形成されているとする。図5は、第1の実施の形態が目的とする微小構造体の一例を示す。この微小構造体4は、各断面形状に対応した複数の薄膜4aから構成されている。図6(a)~(c)は、着膜工程およびパターニング工程を示す。

#### 【0030】(I) 着膜

図6(a)に示すように、基板400としてSiウェハを準備し、着膜装置2Aを用いて、基板400の表面に離型層401として熱酸化膜を0.1 $\mu$ m成長させ、その上にスパッタリング法によりAl薄膜402を0.5 $\mu$

14

m着膜する。ターゲットには高純度Alを使用し、スパッタ圧力は0.5Pa、基板400の温度は室温とする。着膜中は水晶振動子式膜厚計で常時膜厚をモニターし、膜厚が0.5 $\mu$ mに達したところで着膜を終了する。この結果、基板400上の膜厚分布は、0.5 $\pm$ 0.02 $\mu$ m以下が得られた。なお、この膜厚が最終的に得られる微小構造体4の積層方向の分解能を決めるため、膜厚および膜厚分布には十分な配慮が必要である。

#### 【0031】(2) パターニング

図6(b)、(c)に示すように、パターニング装置2Bを用いて、フォトリソグラフィ法により図5に示す微小構造体4の各断面形状に対応した複数の薄膜4aを形成する。すなわち、基板400上に形成したAl薄膜402の表面にポジ型のフォトレジストを塗布し、フォトマスク(図示省略)を用いてフォトレジストを露光し、露光したフォトレジストの部分を溶剤によって取り去り、露出した薄膜402の部分をエッチングし、未露光のフォトレジストを剥離液にて除去して複数の薄膜4aを残す。なお、図6(c)に示すように、このパターニング工程で基板400の位置決めのための複数(例えば3つ)のアライメントマーク403も形成しておく。また、図6(b)、(c)において、直径の大きい薄膜4aから順に第1層~第6層の薄膜4aとして説明する。

【0032】図7(a)~(c)および図8(d)~(f)は、以下に説明する積層工程を示す。なお、図7および図8において、離型層401および犠牲層370は図示を省略する。

【0033】(3) 基板400の真空槽300内への導入  
複数の薄膜4aが形成された基板400を積層装置3の真空槽300内の基板ホルダ301上に載置する。

【0034】(4) 真空槽300内の排気  
オペレータが、積層装置3の図示しない起動スイッチを押下すると、制御部360は、メモリ361が記憶するプログラムに従い、以下に説明する工程を実行する。まず、制御部360は、真空計307の検出値に基づいて真空ポンプ350を制御して真空槽300内を $10^{-6}$ Pa台まで排気し、真空槽300内を高真空状態あるいは超高真空状態にする。

【0035】(5) アライメント調整  
排気が終了すると、制御部360は、ステージ302と基板400(アライメントマーク403)とのアライメント調整を行う。すなわち、制御部360は、X軸モータ311およびY軸モータ321を制御してステージ302をX方向およびY方向に移動してマーク検出部306からのマーク検出信号を取り込み、このマーク検出信号に基づいて基板400と基板ホルダ301との相対的位置関係を測定し、この相対的位置関係の測定結果に基づいてステージ302およびアライメントマーク403が原点位置に達するようにX軸モータ311、Y軸モータ321および $\theta$ モータ341を制御する。ステージ3

(8)

15

02は、X軸モータ311およびY軸モータ321によってX方向およびY方向に移動し、基板ホルダ301は、 $\theta$ モータ341によって回転し、ステージ302およびアライメントマーク403が原点位置に達する。これにより、薄膜4aが形成された基板400を載置する位置にずれがあっても、ステージ302とアライメントマーク403の相対的な位置出しが正確に行われる。

【0036】(6) 第1層の薄膜4aを接合する面の汚染層の除去

図7(a)に示すように、制御部360は、X軸位置検出部312およびY軸位置検出部322の検出信号に基づいてX軸モータ311およびY軸モータ321を駆動し、ステージ302を原点位置からX方向およびY方向に移動させて第1層の薄膜4a上に位置させる。次に、制御部360は、第1層の薄膜4aを接合する面(ステージ302の表面と第1層の薄膜4aの表面)にアルゴン原子ビーム351aでFAB処理を施す。すなわち、制御部360は、ステージ302の表面、および第1層の薄膜4aの表面に所定量のアルゴン原子ビーム351aを所定時間(例えば5分間)照射するように、第1および第2のFAB源駆動部362A、362Bに対する駆動制御、第1および第2の電磁弁352A、352Bに対する開閉制御、および第1および第2のMFC353A、353Bに対する流量制御を行う。第1および第2のFAB源駆動部362A、362Bは、制御部360の制御により、例えば、1.5kVの加速電圧を第1および第2のFAB源303A、303Bに付与する。アルゴンガスボンベ351から圧送されるアルゴンガスは、第1および第2のMFC353A、353Bによって流量が調整され、第1および第2の電磁弁352A、352Bを介して第1および第2のFAB源303A、303Bに供給される。第1のFAB源303Aは、斜め約45°上方のステージ302の表面に向けてアルゴン原子ビーム351aを5分間照射する。第2のFAB源303Bは、斜め約45°下方の第1層の薄膜4aの表面に向けてアルゴン原子ビーム351aを5分間照射する。これにより、ステージ302および第1層の薄膜4aの表面の約10nmの汚染層が除去される。なお、この程度の膜減り量なら本発明が目的とする膜厚精度0.1 $\mu$ mに比べ1桁小さいので無視できる。

【0037】(7) 第1層の薄膜4aの接合

次に、図7(b)に示すように、制御部360は、第1および第2の退避モータ305A、305Bを駆動してアーム304A、304Bを水平方向に回動させ、第1および第2のFAB源303A、303Bを退避させる。制御部360は、Z軸位置検出部332の検出信号に基づいてZ軸モータ331を制御して基板ホルダ301を上昇させ、ステージ302の表面に第1層の薄膜4aの表面を接触させ、所定の荷重(例えば50kgf/cm<sup>2</sup>)で所定の時間(例えば5分間)押し付ける。これに

16

より、ステージ302の表面(犠牲層370)に第1層の薄膜4aの表面が強固に接合される。薄膜402と犠牲層370との接合力 $f_3$ を引っ張り試験により評価したところ、50~100MPaが得られている。なお、大きい接合力 $f_3$ を得るために、薄膜4aとステージ302の表面粗さは各々10nm程度とした。

【0038】(8) 第1層の薄膜4aの転写

次に、図7(c)に示すように、制御部360は、Z軸位置検出部332の検出信号に基づいてZ軸モータ331を駆動して基板ホルダ301を図7(a)に示す元位置まで下降させ、第1および第2の退避モータ305A、305Bを駆動して第1および第2のFAB源303A、303Bを元の位置に復帰させる。基板ホルダ301を下降させると、薄膜4aとステージ302上の犠牲層との接合力 $f_3$ の方が薄膜4aと離型層との接合力 $f_1$ よりも大きいため、薄膜4aは基板400側から剥離し、ステージ302側に転写される。

【0039】(9) 第2層の薄膜4aを接合する面の汚染層の除去

次に、図8(d)に示すように、制御部360は、X軸モータ311およびY軸モータ321を制御してステージ302を第2層の薄膜4aの上に移動し、図7(a)で説明したように再びFABを照射する。ステージ302の移動量は各薄膜4aピッチに相当する距離である。最初のFAB照射との違いはステージ302の表面にFABを照射するのではなく、第1層の薄膜4aの裏面(それまで基板400に接触していた面)に照射し、そこを清浄化することである。

【0040】(10) 第2層の薄膜4aの接合

次に、図8(e)に示すように、制御部360は、第1および第2のFAB源303A、303Bを退避させ、基板ホルダ301を上昇させ、第1層の薄膜4aに第2層の薄膜4aを接合する。

【0041】(11) 第2層の薄膜4aの転写

次に、図8(f)に示すように、制御部360は、基板ホルダ301を下降させ、第1および第2のFAB源303A、303Bを元の位置に復帰させ、基板ホルダ301を下降させる。基板ホルダ301を下降させると、薄膜4a同士の接合力 $f_2$ の方が薄膜4aと離型層401との接合力 $f_1$ よりも大きいため、第2の薄膜4aは基板400側から剥離し、第1の薄膜4aの上に転写される。

【0042】(12) 犠牲層370の除去

図9は、全ての薄膜4aが積層された状態を示す。上記薄膜4aの接合・転写を繰り返して第3層~第6層の薄膜4aを同様に積層すると、図9に示すように、全ての薄膜4aが積層された微小構造体4が得られる。最後に、犠牲層370をエッチング除去して微小構造体4をステージ302から分離する。

【0043】次に、上述した第1の実施の形態の効果を

(9)

17

説明する。

(i) 着膜とパターニングにより微小構造体4を構成する複数の薄膜4aを一括して形成しているので、後は接合と転写の工程だけを繰り返せば複数の薄膜4aを積層できることから、生産性が大幅に向上する。また、真空槽300内を一旦真空引きしてしまえば真空を破らずにFABの照射、接合、転写の各工程を連続して繰り返し行うことが可能であるため、効率良く微小構造体を生産することができる。

(ii) 微小構造体の各断面形状に対応する複数の薄膜を一度の着膜とパターニングで形成できるので、全行程に要する時間を大幅に節約することが可能になる。

(iii) 得られた微小構造体4を型として用い、プラスチック等を射出成形することにより、光学レンズ等の微小光学部品を大量生産できる。

(iv) 常温接合により、ステージ302側に薄膜4aを接合しているので、接着剤を用いたり、材料を溶かす必要がないことから、接合により薄膜4aの形状や厚みが変化することがなく、高精度を維持できる。

【0044】なお、本実施の形態では、薄膜の積層を常温接合により行ったが、接着剤による接合や加熱による拡散接合等によってもよい。また、本実施の形態では、薄膜を着膜した後に、パターニングを行ったが、着膜とパターニングを同時に行う方法、例えば、メタルマスクを用いる方法、あるいは選択CVD法を用いてもよい。また、本実施の形態では、スパッタリング法によりAl薄膜を形成したが、抵抗加熱蒸着法や電子ビーム加熱蒸着法によりAl薄膜を形成してもよい。また、薄膜は、Alに限らず、タンタル(Ta)、銅、インジウム等の他の金属でもよく、またアルミナ、窒化アルミ、炭化けい素、シリコン窒化膜等のセラミックスでもよい。また、本実施の形態では、基板ホルダ301がZ方向に移動し、ステージ302がX方向およびY方向に移動する場合を示したが、基板ホルダ301とステージ302の両方が共にZ方向に移動する機構でもよく、基板ホルダ301がX方向およびY方向に移動し、ステージ302がZ方向に移動する機構でもよく、基板ホルダ301とステージ302の両方が同様の機構を有していてもよい。また、各薄膜4a毎に着膜、パターニング、接合、転写の各工程を繰り返してもよい。

【0045】次に、本発明の第2の実施の形態に係る製造システムを説明する。この製造システムは、第1の実施の形態と同様に、着膜装置と、パターニング装置と、積層装置とを備えているが、着膜装置およびパターニング装置は、リフトオフ法によって微小構造体の各断面形状に対応した複数の第1の薄膜を形成するように構成されており、さらに、第1の薄膜の周辺に第1の薄膜と異なる材料で、かつ同一厚さの第2の薄膜を形成するために、基板の表面をCMP (Chemical Mechanical Polishing) 法によって研磨する図示しない研磨装置を備えてい

18

る。

【0046】次に、第2の実施の形態に係る製造システムの動作を図10および図11を参照して説明する。図10は、第2の実施の形態が目的とする微小構造体4としての微小プーリを示し、同図(a)は分解斜視図、同図(b)は縦断面図である。同図に示す微小構造体4は、第1層～第20層のアルミナ薄膜4aからなり、両側にフランジ40、40を備えた軸41を、両側に鈎42、42を備えたプーリ43の開口部43a内に組み込んだ構造を有している。図11は、着膜・パターニング工程を示す図である。

【0047】図11(a)に示すように、基板400としてSiウェハを準備し、着膜装置を用いて、基板400の表面に離型層401として熱酸化膜を0.1μm成長させる。次に、パターニング装置を用いて、離型層401の上にフォトレジスト404を全面に塗布し、露光と現像のパターニングにより微小構造体4の各断面形状に対応するフォトレジスト404の部分を剥離し、着膜装置を用いて表面全体にアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の第1の薄膜402Aを1μm着膜する。

【0048】次に、図11(b)に示すように、残りのフォトレジスト404をその上に着膜している第1の薄膜402Aとともに剥離する(リフトオフ法)。残った第1の薄膜402Aが微小構造体4を構成する薄膜4aとなる。

【0049】次に、図11(c)に示すように、着膜装置を用いてスパッタリング法によりアルミニウム(Al)からなる第2の薄膜402Bを1.1μm着膜する。この状態では、第1の薄膜402Aは第2の薄膜402Bで完全に覆われている。本実施の形態で、第1の薄膜402Aと第2の薄膜402Bとの組合せをAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とAlとの組合せとしたのは、これらの材料は常温接合で互いに接合しやすく、選択除去可能な組み合わせだからである。

【0050】次に、図11(d)に示すように、研磨装置を用いて第2の薄膜402Bの表面をCMP法により研磨し、第1の薄膜402A(4a)が現れるところまで第2の薄膜402Bを除去する。これにより、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の薄膜4aとAlの薄膜402Bが共に膜厚1μmとなる。なお、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の薄膜4aの表面粗さは、ステージ302と同様に10nm程度とした。これにより、薄膜4a、402B同士の大きい接合力f<sub>2</sub>が得られる。

【0051】図12は、図11(d)に対応する平面図である。図12のパターン形成時に複数(例えば3つ)のアライメントマーク403も形成しておく。

【0052】更に、図11(e)に示すように、パターニング装置を用いて各層間の第2の薄膜402Bを通常のフォトリソグラフィ法またはダイシングにより除去して分離溝405を形成し、各断面要素4bを分離してお

50

(10)

19

く。

【0053】図13は、図11(e)に対応する平面図である。微小構造体4を構成する薄膜4aと第2の薄膜402Bが同一膜厚で配置されたことになる。本実施の形態では、1つの微小構造体4を構成する各断面要素4bが縦横に規則正しく並ぶよう配置した。

【0054】次に、第1の実施の形態と同様に、複数の薄膜4aが形成された基板400を積層装置の真空槽内に導入し、真空槽内の排気、アライメント調整、汚染層の除去、薄膜の接合・転写の各工程を行う。

【0055】図14は、第1層～第20層の断面要素4bが積層された状態を示す。同図において、斜線部分はA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる薄膜4aを示し、白抜きの部分はA1からなる第2の薄膜402Bを示す。上記の工程を繰り返すことにより、図14に示すように、第1層～第20層の断面要素4bが犠牲層370を介してステージ302上に積層される。積層が完了した時点では、外見はA1の直方体の姿をしており、内部にA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなるプリー43と軸41が埋め込まれた状態になっている。最後に、このA1の直方体をA1のエッチング液に浸漬しA1の第2の薄膜402Bのみを除去し、犠牲層370をエッチング除去すると、A1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる微小プリー43が軸41と組みあがった状態で完成する。

【0056】上記第2の実施の形態によれば、以下の効果が得られる。

(i) 図10に示すように、複数の部品が複雑に組み合わさった状態で微小構造体を製造することが可能になる。A1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の薄膜4aとA1の第2の薄膜402Bを同一膜厚で同時に積層しているので、微小構造体4のオーバーハング部(図10(b)のA)や宙に浮く部分(図10(b)のB)があっても正しく積層でき、また軸41とプリー43のギャップ(図10(b)のG)も正確に維持できる。(ii) 微小構造体として複雑な微小ギヤも製造することができる。

図15は、その微小ギヤを示し、同図(a)は分解斜視図、同図(b)は縦断面図である。同図に示す微小構造体4は、第1層～第20層の薄膜4aからなり、両側にフランジ40、40を備えた軸41を、微小ギヤ44の開口部43a内に組み込んだ構造を有している。

(iii) 微小構造部が金属や絶縁体等の材料で直接形成できるばかりでなく、複数の微小構造部が複雑に組み合わさった状態で製造することが可能であり、微小構造部の組立工数を大幅に改善する効果がある。

【0057】なお、本実施の形態では、第1の薄膜としてA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、第2の薄膜としてA1を用いてセラミックスと金属の組合せの場合について説明したが、それぞれA1とA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の如く金属とセラミックス、TaとA1の如く金属同士、アルミナとシリコン窒化膜の如くセラミックス同士の組合せ等でもよい。また、本実施の形態では、CMP法を用いたが、膜厚を精密に制御しな

20

がら着膜し、フォトリソグラフィを2回行うパターンニングにより同一膜厚の排他的パターンを形成してもよい。また、本実施の形態では、全ての断面要素4bが積層された後、第2の薄膜をエッチング除去したが、第1の薄膜をエッチング除去容易な材料で構成し、第1の薄膜の方をエッチング除去してもよい。これにより、目的の微小構造体と相補的な内面形状を有する第2の薄膜からなる型が得られるので、この型を用いて射出成形、注型成形、プレス成形等の成形によりプラスチック等からなる微小構造体を量産することができる。

【0058】図16および図17は、第3の実施の形態に係る薄膜形成基板を示す。第2の実施の形態では、第1層～第20層の薄膜4aを基板400上に連続的に分散して形成したが、この第3の実施の形態では、1枚の6インチサイズのSiウェハの基板400に10mm角のチップCを148個形成し、各チップCに同一の層の約7000個の薄膜4aをピッチ120μmで2次元に配列している。図16においてC<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>19</sub>、C<sub>20</sub>で示すチップは、図17(a)に示すパターンが形成され、C<sub>3</sub>、C<sub>18</sub>で示すチップは、図17(b)に示すパターンが形成され、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>15</sub>、C<sub>16</sub>、C<sub>17</sub>で示すチップは、図17(c)に示すパターンが形成され、C<sub>7</sub>～C<sub>14</sub>で示すチップは、図17(d)に示すパターンが形成される。

【0059】図18は、第1層～第20層のチップCが積層された状態を示す。チップC内の第2の薄膜402Bを除去し、犠牲層370をエッチング除去することにより、図10に示す微小構造体4が一度に7000個製造することができ、1枚のウェハから49000個の微小構造体4が得られるので、微小構造体4の大量生産が可能になる。なお、本実施の形態では、チップ内に1種類の微小構造体を配置した形態を示したが、フランジ径やプリー径等が異なる複数種類の微小構造体を配置してもよい。

【0060】図19は、本発明の第4の実施の形態に係るパターンニング装置2Bを示す。この第4の実施の形態は、第1の実施の形態とはパターンニング装置2Bが異なり、他は第1の実施の形態と同様に構成されている。このパターンニング装置2Bは、真空槽20を有し、この真空槽20内にイオンビーム21を出射するイオンビーム発生部22と、イオンビーム発生部22から出射されたイオンビーム21を微小構造体のスライスデータに基づいて偏向する偏向電極23とを備え、図19に示すように、基板400上に離型層401を介して薄膜402を着膜した後、薄膜402が着膜された基板400を真空槽20に入れ、集束イオンビーム(FIB)法により薄膜402の不要部分あるいは境界線を選択的に除去するものである。本実施の形態では、境界線を除去した。

「FIB法」とは、一般にガリウム(Ga)の蒸気を電界で加速し、細いビーム状に絞り偏向電極に電圧を印加

50

(11)

21

してビームを走査し、対象物の所望の場所に照射するので、試料の分析、観察に使われたり、本実施の形態のように微細加工に用いられている。

【0061】次に、第4の実施の形態の動作を図20を参照して説明する。図20は、第4の実施の形態が目的とする微小構造体4を示す。この微小構造体4は、第1層～第n層の薄膜4aからなる太鼓状を有している。まず、第1の実施の形態と同様に、基板400上に離型層401を形成し、この上にAl薄膜402を0.5μm着膜する。次に、この基板400を図19に示すように真空槽20内に入れ、FIB法によりAl薄膜402を選択的に除去する。FIB法で除去加工を行うと、エッチング量の深さ方向制御が微妙なためAlのみならず若干基板400表面も削ってしまうことになるが、下層に積層中の微小部品があるわけではないので特に支障はない。

【0062】図21は、パターニング後を示す平面図である。同図において、405がFIB法で形成された分離溝である。パターニングの形状は、微小構造体4の断面形状を有する領域 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、…が、断面要素4b中に隙間を隔てて配置されるようにした。断面要素4bは、製造すべき微小構造体4の最大断面積よりも一回り大きな任意の形状を有し、本実施の形態では矩形とした。製造すべき微小構造体の各断面パターンが断面要素4bに収まった形で基板400全面に2次元に並んでいる。

【0063】以下の工程は、第1の実施の形態と同様に、複数の断面要素4bが形成された基板400を積層装置3の真空槽300内に導入し、接合と転写の工程を繰り返すことにより、複数の断面要素4bが積層された状態で微小構造体4が完成する。

【0064】図22は、第1層～第n層の断面要素4bが積層された状態を示す。犠牲層370をエッチング除去することで、断面要素4bの中央部分の領域 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、…からなる微小構造体4を取り出すことができる。

【0065】上記第4の実施の形態によれば、FIB法によって薄膜をパターニングしているので、薄膜のパターニングに際し、フォトリソが不要となるため、製造の納期が短縮できる。また、各断面要素4bの面積がほとんど同一であるため、薄膜を積層する際の加圧力を一定にすることができる。FIB法で各断面要素4bを分離するための格子部分と、各断面要素4b内の境界部分だけを除去しているので、加工に要する時間が節約できる。描画精度も0.1μm程度が得られるため、微小構造体の高精度化が達成できる。なお、上記第4の実施の形態ではFIBを用いたが、電子ビームを用いてもよい。

【0066】図23は、本発明の第5の実施の形態に係る微小構造体の製造システムを示す。この製造システム

22

1は、基板上に薄膜を着膜する着膜装置2Aと、着膜装置2Aによって着膜された薄膜のうち目的とする微小構造体の各断面形状に対応する領域にイオンを注入するイオン注入装置2Cと、イオンが注入された複数の領域を真空槽内でFAB照射しつつ、常温接合して積層する積層装置3とを有して構成されている。

【0067】次に、第5の実施の形態に係る製造システム1の動作を図24および図25を参照して説明する。図24(a)～(d)および図25(e)～(h)は、第5の実施の形態に係る製造工程を示す図である。

【0068】図24(a)に示すように、まず、基板400としてSiウェハを準備し、着膜装置2Aを用いて、基板400の表面に離型層401として $SiO_2$ 膜を形成し、その上に減圧気相堆積(LPCVD: Low Pressure Chemical Vapor Deposition)法によりノンドープ多結晶Si薄膜410を形成する。なお、最表面の多結晶Si薄膜410が最終的な微小構造体を構成するので、膜厚およびその分布には十分な配慮が必要であり、本実施の形態では $1.0 \pm 0.02 \mu m$ の多結晶Si薄膜410を着膜した。また、このように基板400の上に $SiO_2$ 膜と多結晶Si薄膜410を形成する代わりに、SOIウェハ(Silicon On Insulator)基板を用いてもよい。次に、多結晶Si薄膜410の表面にLPCVD法によりシリコン窒化膜411を0.5μm形成し、微小構造体の第1層の断面形状に対応する窓411aを開ける。

【0069】次に、図24(b)に示すように、イオン注入装置2Cに基板400を導入し、ボロン(B)を高濃度、例えば $3 \times 10^{19} [cm^{-3}]$ 以上で注入する。そして、注入マスクを除去した後、窒素雰囲気中でアニールを行い、イオン注入領域を潜像としての不純物拡散領域、すなわち高濃度の $p^+$ Si領域410aにする。

【0070】これにより、図24(c)に示すように、微小構造体の構成部分が $p^+$ Si領域410a、周辺部分がノンドープのSi領域410となった基板400が完成する。

【0071】上記の工程の微小構造体の他の断面形状に対応する薄膜にも適用し、微小構造体を形成するのに必要な枚数の図24(c)に示す基板400を準備する。

【0072】次に、図24(d)に示すように、第1層の断面形状に対応する $p^+$ Si領域410aが形成された基板400と、第2層の断面形状に対応する $p^+$ Si領域410aが形成された基板400とを接合する。具体的には、2枚の基板400、400を積層装置3の真空槽内に導入し、第1の実施の形態と同様に、FABを照射して表面を清浄化し、2枚の基板400、400の位置合せをした後、両者を圧着し、基板400、400同士を常温接合する。なお、常温接合以外の方法として従来よりよく知られているウェハボンディング法も適用可能である。この「ウェハボンディング法」は、2枚のS

(12)

23

i ウェハ同士を十分洗浄して表面を親水性にした後、貼り合わせ、その後、1000℃程度の熱処理を行うことにより、強固に結合させる方法である。この方法では、高温の熱処理により、イオン注入で形成した領域が再拡散により不純物分布が変化し、ひいては微小構造体の形状が変化するため、その分を予め注入マスクパターンに補正しておく必要がある。従って、その必要がないFABによる常温接合の方が望ましい。

【0073】次に、図25(e)に示すように、第2層の断面形状に対応した $p^+$ Si領域410aが形成された基板400の裏面をSiO<sub>2</sub>膜の離型層401が露出するまで研磨する。研磨は、離型層401が現れたところで検出可能なので、接合界面のSi薄膜410まで深く削り過ぎてしまうことはない。

【0074】次に、図25(f)に示すように、バッファードフッ酸により離型層401をエッチング除去し、Si薄膜410が2層重なった状態が完成する。

【0075】以下は、上記(d)～(f)の工程を繰り返し、図25(g)のように必要な枚数のSi薄膜410を積層する。

【0076】次に、図25(h)に示すように、現像工程として $p^+$ Si領域410aの周辺のSi薄膜410をKOH溶液あるいはEDP（エチレンジアミンピロカテコール）溶液でエッチング除去する。これらの溶液は、ノンドープのSiとドーピングされたSiとのエッチングレートの比が非常に大きいため、ノンドープのSiのみを選択的に除去することが可能である。なお、図には示していないが、基板400の裏面は、シリコン窒化膜等で保護しておけばよい。最後に基板400上の離型層401をバッファードフッ酸によりエッチング除去すれば、完成した微小構造体4を基板400から取り出すことができる。

【0077】上述した第5の実施の形態によれば、ドーピングされた微小構造体の構成部分とその周辺にあるノンドープの領域が同一膜厚で存在しており、周囲の部分はサポートとして機能できるため、オーバーハングがあったり、複雑な形状を有する部品がアセンブリされた状態で形成することができる。また、イオン注入された領域が潜像として形成されており、積層完了後にEDP溶液により現像されたと考えることができるが、これ以外の潜像形成と現像方法、例えば、フォトレジストへの選択的露光と現像液による現像処理でもよい。なお、本実施の形態では、イオン注入工程における注入マスクとしてシリコン窒化膜411を用いたが、シリコン酸化膜やフォトレジストを用いてもよい。

【0078】

【実施例】以下、基板表面に形成する離型層の実施例を説明する。

【0079】（実施例1）離型層としてフッ素樹脂（旭硝子社製サイトップ）を用いることにより、基板上にス

24

ピンコート法で薄膜を形成でき、表面エネルギーが非常に小さい（一般に水を弾きやすい）ため、表面に形成した膜の密着力も非常に小さく（1MPa台）、離型層として適している。Siウェハ又はガラス基板上にカップラー剤（基板との密着力を強化するため）をスピン塗布後、フッ素樹脂（旭硝子社製サイトップ）を同じくスピン塗布により約2μm塗布し、最高温度300℃でベイクして離型層を形成した。

【0080】（実施例2）離型層としてフッ素化ポリイミド（日立化成社製OPIN1005）を用いることにより、スピンコート法で形成でき、ポリイミドは実施例1のフッ素樹脂（サイトップ）よりもガラス転移温度が高いため、薄膜の着膜やパターン形成工程の最高温度を高くできる効果がある。基板にカップラー剤塗布後、フッ素化ポリイミド（日立化成社製OPIN1005）をスピンコーティングにより約5μm塗布し、最高温度350℃でベイクして離型層とした。

【0081】（実施例3）基板表面をフッ素原子を含むガスに晒し、表面層をフッ素化した場合、同様の効果を実現できることも確認した。具体的には、Siウェハ若しくは酸化膜を形成したSiウェハ若しくはガラス基板を真空装置（ドライエッチング装置）に導入し、CF<sub>4</sub>ガスを用いたプラズマ処理（ガス流量100sccm、放電パワー500W、圧力10Pa、時間10分）を行うことにより、同様に薄膜との接合力を下げる事ができた。同様の処理はSF<sub>6</sub>ガスを用いても効果があつた。

【0082】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、薄膜を出発材料として用い、複数の薄膜を接合により積層しているので、形状精度が高く、特に積層方向の高解像度化が可能になる。また、金属あるいは絶縁体からなる複数の薄膜から微小構造体を構成できるので、微小構造体を直接金属あるいはセラミックス等の絶縁体で造形することが可能になる。また、第1の薄膜と第2の薄膜を同一膜厚で形成し、これを複数層積層した後に、第1の薄膜あるいは第2の薄膜を除去することで、複数の構造体要素が組み立てられた状態で一括して造形することが可能になり、微小構造体の作製および組立工数を大幅に改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る製造システムを示すブロック図である。

【図2】第1の実施の形態に係る積層装置の概略構成図である。

【図3】第1の実施の形態に係る積層装置の制御系を示すブロック図である。

【図4】第1の実施の形態に係る犠牲層、薄膜、離型層間の接合力の関係を説明するための図である。

【図5】第1の実施の形態が目的とする微小構造体の斜

(13)

25

視図である。

【図6】(a)は第1の実施の形態に係る薄膜形成工程、(b)、(c)は第1の実施の形態に係るパターニング工程を示す図である。

【図7】(a)～(c)は第1の実施の形態に係る積層工程を示す図である。

【図8】(d)～(f)は第1の実施の形態に係る積層工程を示す図である。

【図9】第1の実施の形態に係る積層工程の完了状態を示す断面図である。

【図10】(a)は微小構造体としての微小プーリの分解斜視図、(b)はその縦断面図である。

【図11】(a)～(e)は第2の実施の形態に係る着膜・パターニング工程を示す図である。

【図12】第2の実施の形態に係るパターニング工程を示す基板の平面図である。

【図13】第2の実施の形態に係るパターニング工程を示す基板の平面図である。

【図14】第2の実施の形態に係る第1層～第20層の断面要素が積層された状態を示す断面図である。

【図15】(a)は第2の実施の形態が目的とする微小ギヤの分解斜視図、(b)はその縦断面図である。

【図16】本発明の第3の実施の形態に係る薄膜形成基板を示す平面図である。

【図17】(a)～(d)は本発明の第3の実施の形態に係る薄膜形成基板を示す平面図である。

【図18】第3の実施の形態に係る第1層～第20層のチップが積層された状態を示す断面図である。

【図19】本発明の第4の実施の形態に係るパターニング装置の概略構成図である。

【図20】第4の実施の形態が目的とする微小構造体の斜視図である。

【図21】第4の実施の形態に係るパターニング工程を示す基板の平面図である。

【図22】第4の実施の形態に係る第1層～第n層の断面要素が積層された状態を示す断面図である。

【図23】本発明の第5の実施の形態に係る製造システムを示すブロック図である。

【図24】(a)～(d)は第5の実施の形態に係る製造方法を示す図である。

【図25】(e)～(h)は第5の実施の形態に係る製造方法を示す図である。

【図26】従来例1の光造形法を示す模式図である。

【図27】従来例2の粉末法を示す模式図である。

【図28】従来例3のシート積層法に係る製造装置を示す図である。

【図29】(a)～(d)は従来例4の薄膜を出発材料として用いる製造方法を示す図である。

【符号の説明】

1 製造システム

26

2 A 着膜装置

2 B パターニング装置

2 C イオン注入装置

3 積層装置

4 微小構造体

4 a 薄膜

4 b 断面要素

2 0 真空槽

2 1 イオンビーム

10 2 2 イオンビーム発生部

2 3 偏向電極

4 0 フランジ

4 1 軸

4 2 鍔

4 3 プーリ

4 3 a 開口部

4 4 微小ギヤ

3 0 0 真空槽

3 0 1 基板ホルダ

20 3 0 2 ステージ

3 0 3 A 第1のFAB源

3 0 3 B 第2のFAB源

3 0 4 A, 3 0 4 B アーム

3 0 5 A 第1の退避モータ

3 0 5 B 第2の退避モータ

3 0 6 マーク検出部

3 0 7 真空計

3 1 0 X軸テーブル

3 1 1 X軸モータ

30 3 1 2 X軸位置検出部

3 2 0 Y軸テーブル

3 2 1 Y軸モータ

3 2 2 Y軸位置検出部

3 3 0 Z軸テーブル

3 3 1 Z軸モータ

3 3 2 Z軸位置検出部

3 4 0  $\theta$ テーブル

3 4 1  $\theta$ モータ

3 4 2  $\theta$ 位置検出部

40 3 5 0 真空ポンプ

3 5 1 アルゴンガスポンプ

3 5 1 a アルゴン原子ビーム

3 5 2 A 第1の電磁弁

3 5 2 B 第2の電磁弁

3 5 3 A 第1の流量コントローラ (MFC)

3 5 3 B 第2の流量コントローラ (MFC)

3 6 0 制御部

3 6 1 メモリ

3 6 2 A 第1のFAB源駆動部

50 3 6 2 B 第2のFAB源駆動部

(14)

370 犠牲層

400 基板

401 離型層

402 薄膜

402A 第1の薄膜

402B 第2の薄膜

403 アライメントマーク

404 ホトレジスト

405 分離溝

410 Si 薄膜

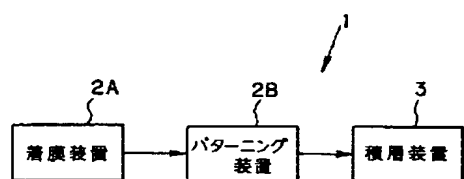
410a p<sup>+</sup>Si 領域

411 シリコン窒化膜

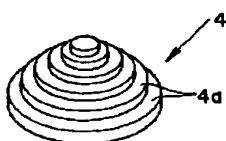
411a 窓

 $f_1, f_2, f_3$  接合力C, C<sub>1</sub> ~ C<sub>20</sub> チップ

【図1】

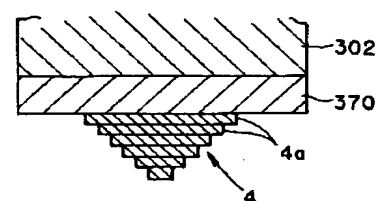


【図5】

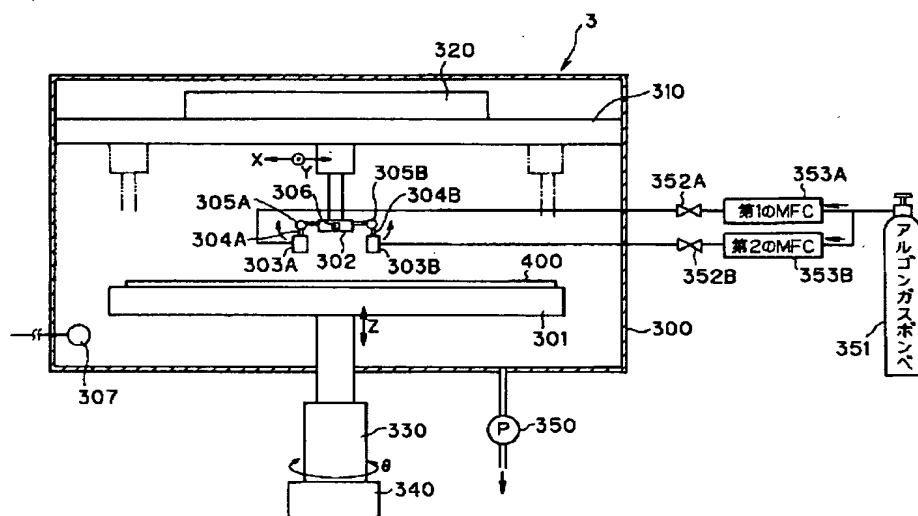


28

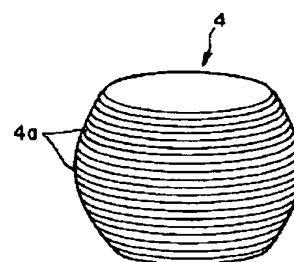
【図9】



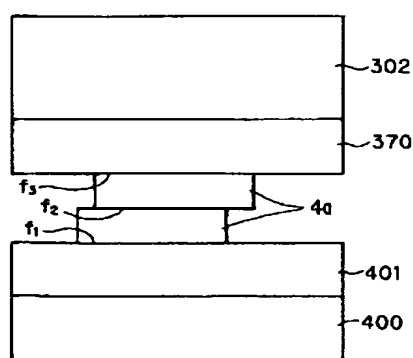
【図2】



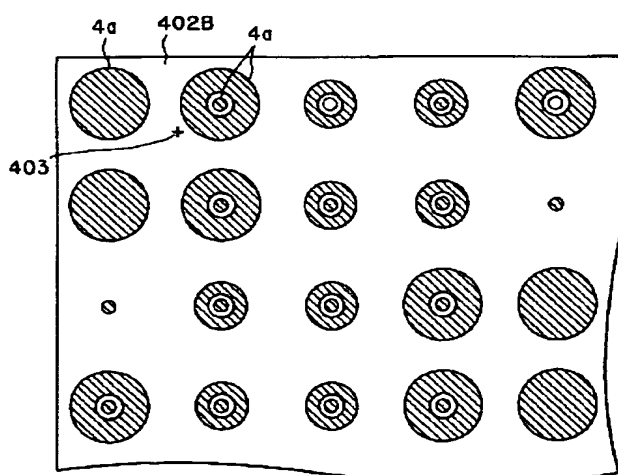
【図20】



【図4】

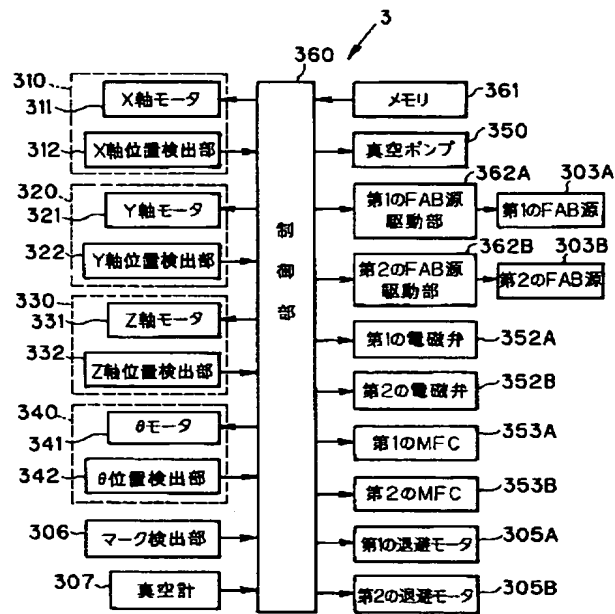


【図12】

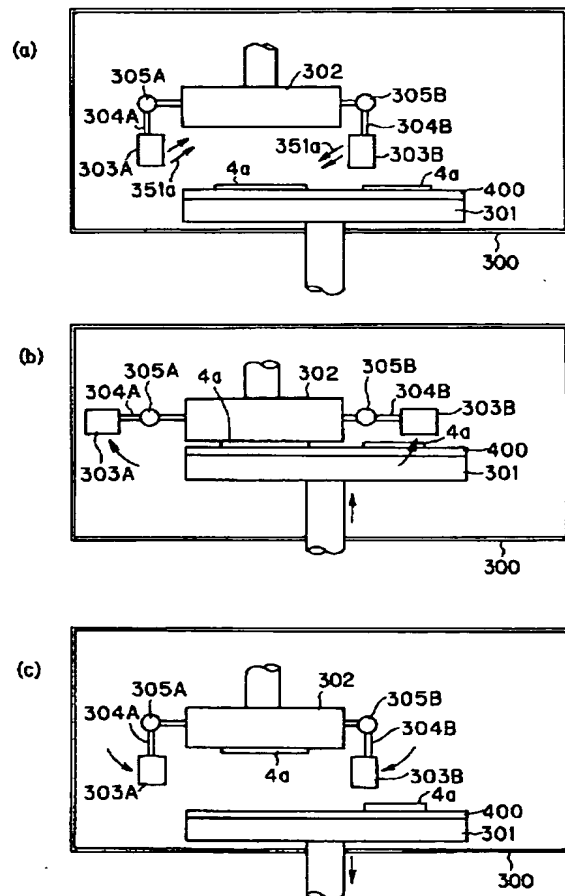


(15)

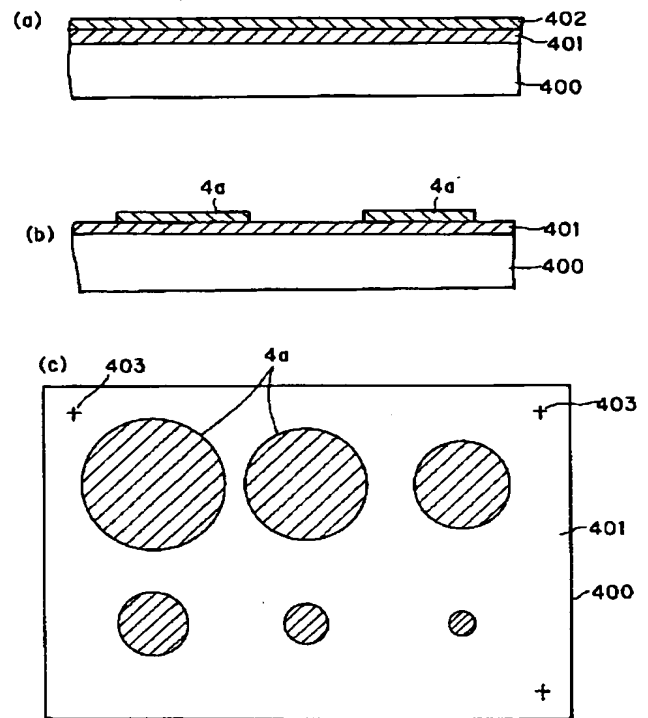
【図3】



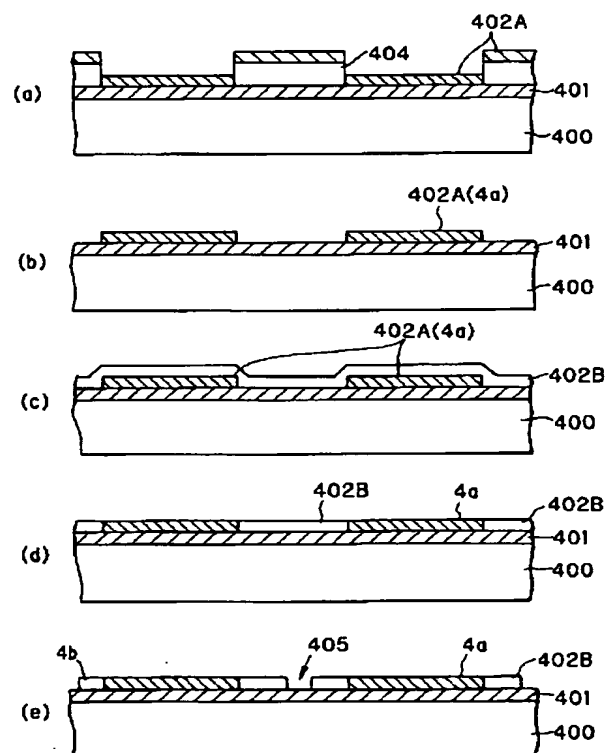
【図7】



【図6】

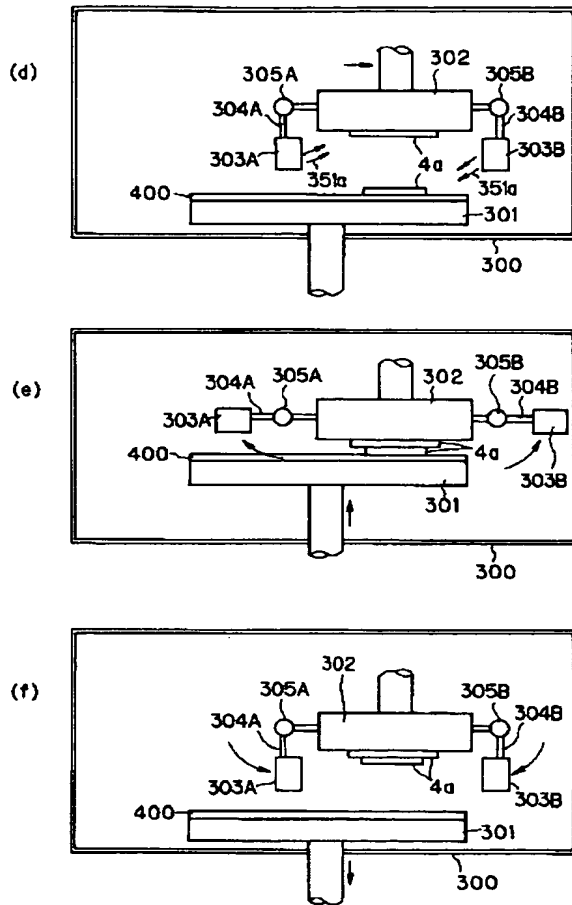


【図11】

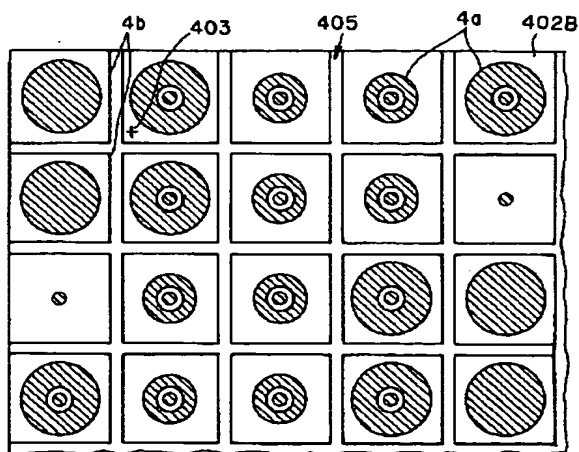


(16)

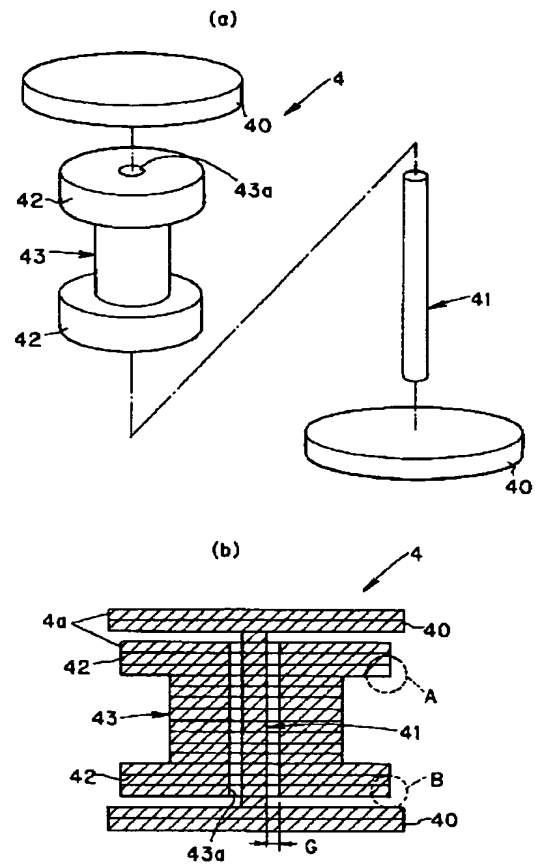
【図8】



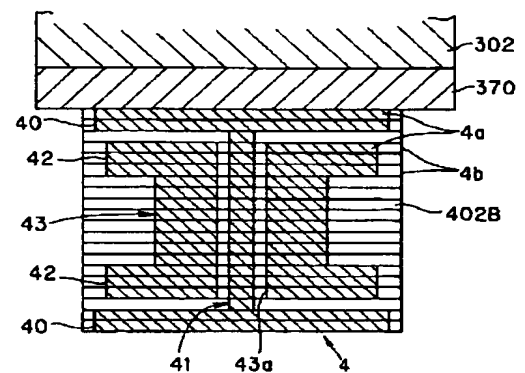
【図13】



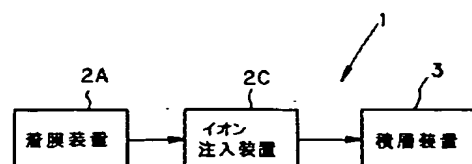
【図10】



【図14】

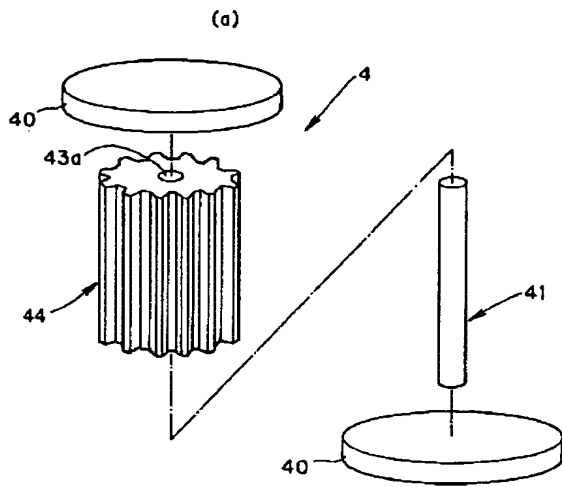


【図23】

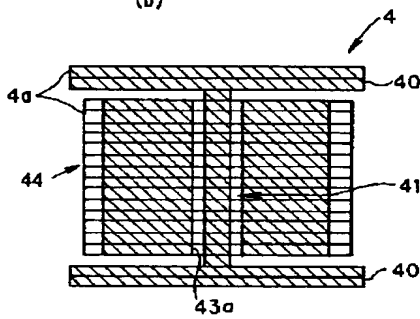


(17)

【図15】

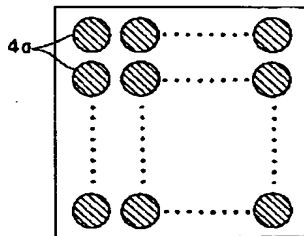


(b)

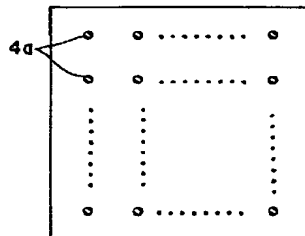


【図17】

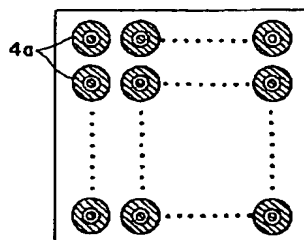
(a)



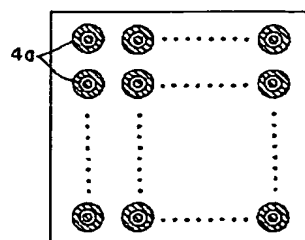
(b)



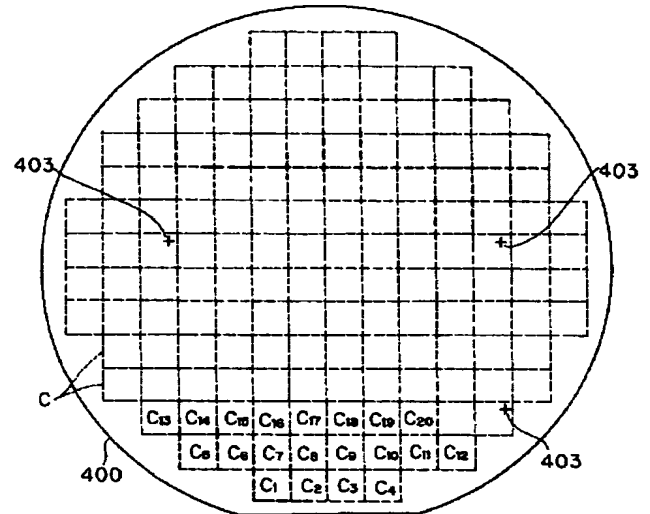
(c)



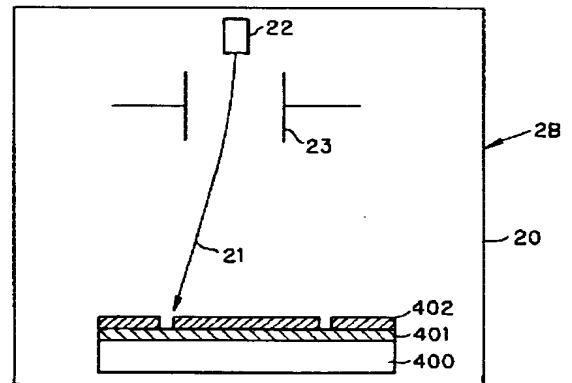
(d)



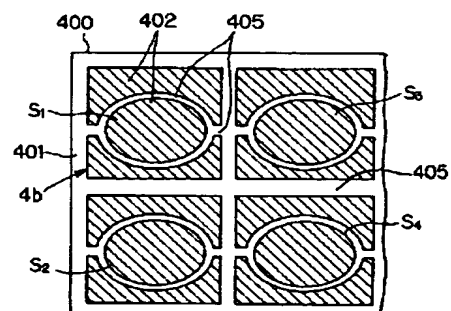
【図16】



【図19】

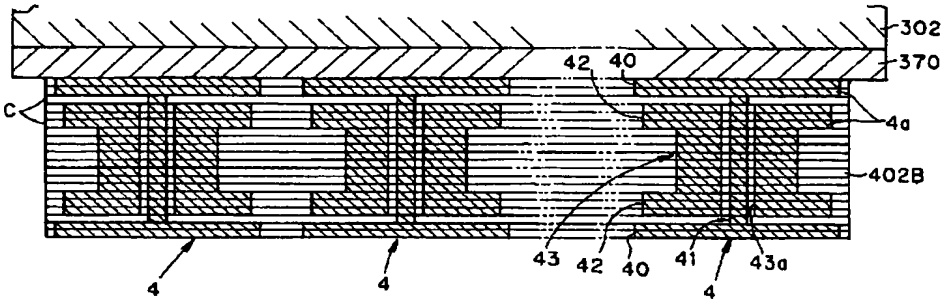


【図21】

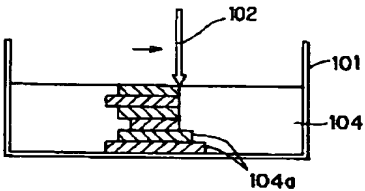


(18)

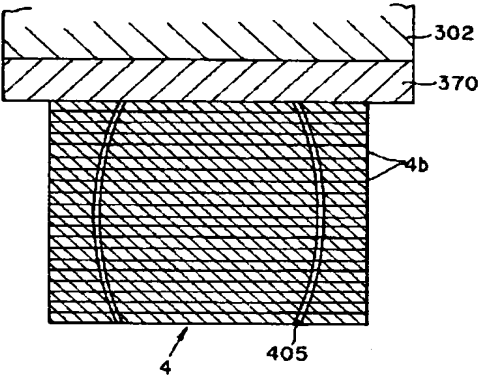
【図18】



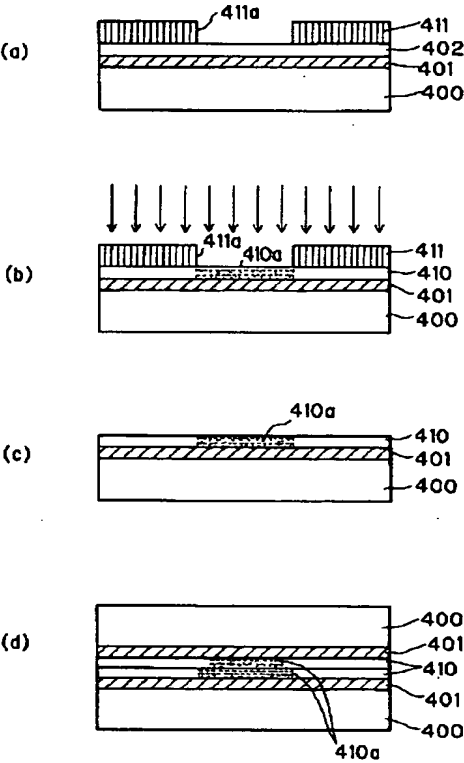
【図27】



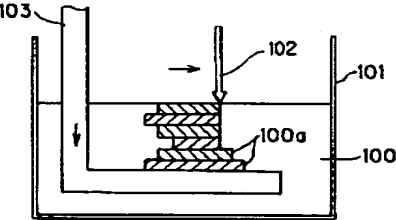
【図22】



【図24】

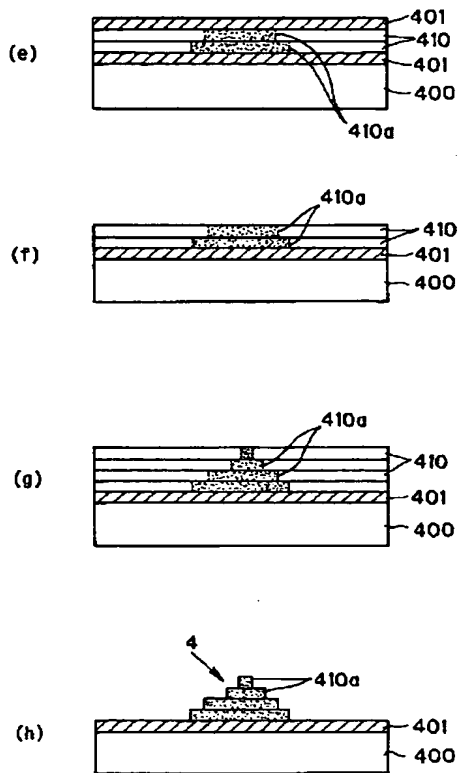


【図26】

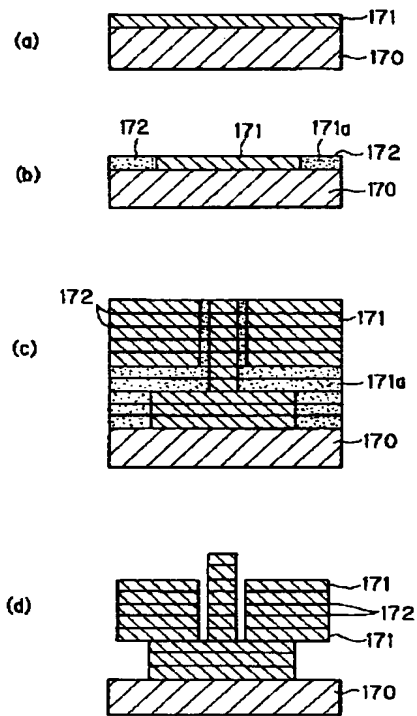


(19)

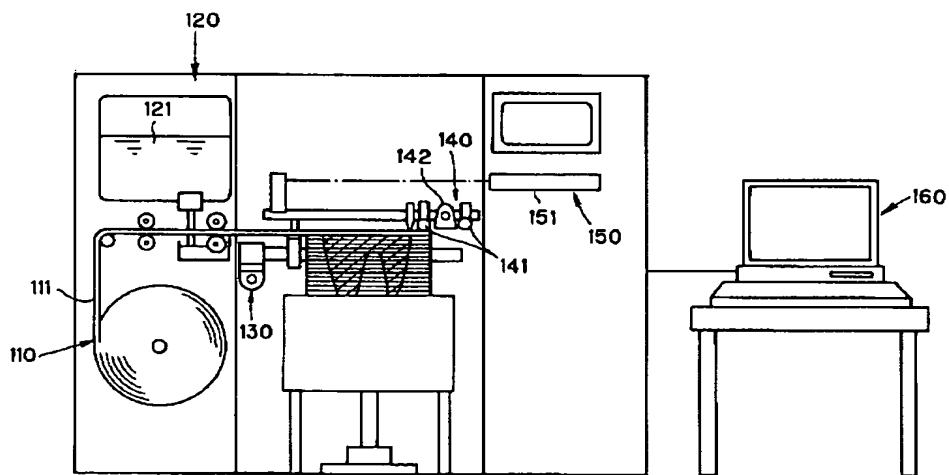
【図25】



【図29】



【図28】



(20)

フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 平10-244596 (J P, A)

(58) 調査した分野 (Int. Cl. 7, D B 名)

C23C 14/00

C23C 28/00

B29C 67/00